محاضرة

في

خواص الهزات الأرضية وتأثيراتها

هزة تركيا (6 شباط 2023) ومدى تأثيرها على السدود في المنطقة

المهندس الاستشاري نصرت أدمو

خبير بالموارد المائية وتصاميم السدود

15 شباط 2023

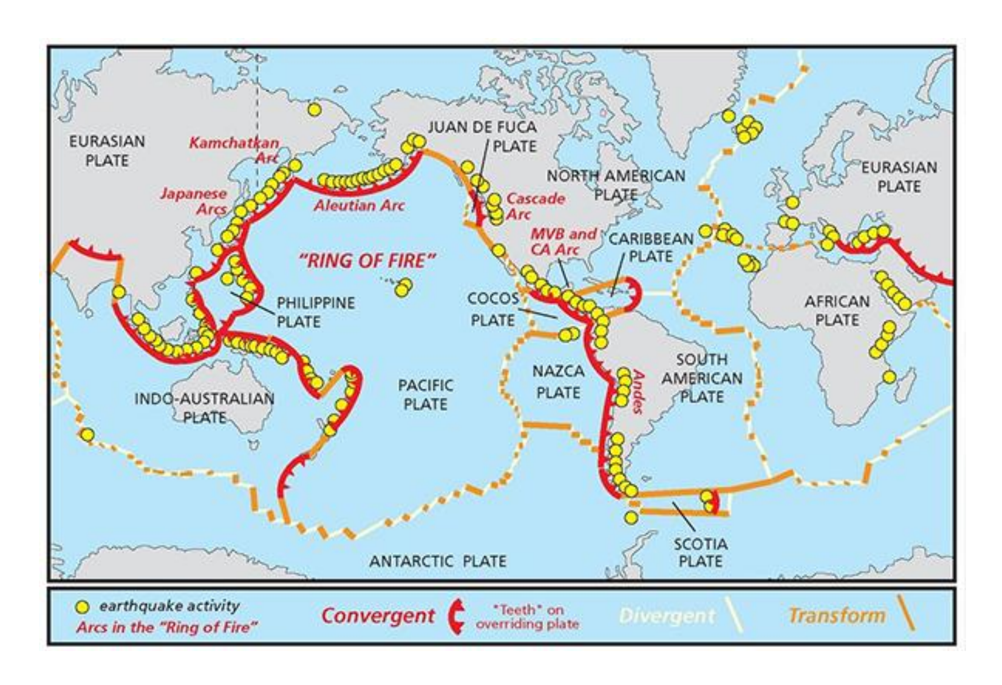
1. ماهية الهزة الأرضية او الزلزالية

الزَّلْزال أو الهَزَّة الأَرْضِيَّة هي ظاهرة طبيعية تتمثل باهتزاز أو سلسلة من الاهتزازات الارتجاجية المتتالية لسطح الأرض في بقعة ما وما ينتج عنها من حركة موجية تدعى الموجات الزلزالية التي تنتشر من مركز الهزة وتتسبب في الدمار في المباني والمنشأت في مناطق تأثيرها. وتحصل الهزة الأرضية في وقت قصير لا يتعدى ثوانٍ او دقائق معدودة. ويعقب الهزة الرئيسية هزات ارتدادية (Aftershocks) اقل قوة تسمى ايضا بالهزات الثانوية، كما قد يسبقها هزات اقل عنفا تؤذن بحصول الهزة الرئيسية. وتكون الهزات الأرضية على نوعين أولهما مسبب بعوامل طبيعية والثاني محتث ينتج عن النشاطات البشرية.

وتنتج الهزات الطبيعية عادة اما بسبب الحركة المستمرة لصفائح القشرة الأرضية او كذلك ثورة البراكين حيث يرتبط الاثنان بعلاقة تفاعلية فقد يتسبب أي منهما بحصول الاخر.

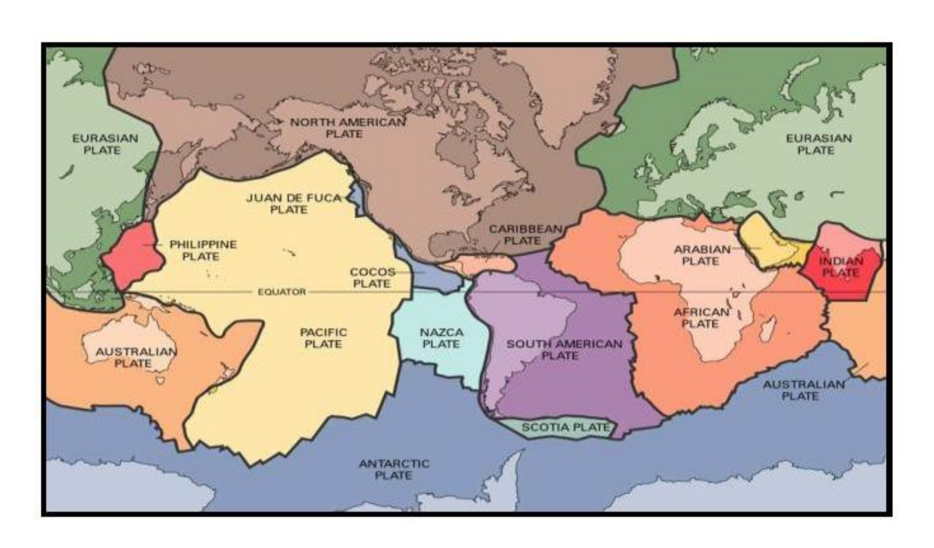
اما اكثر الهزات تدميرا فهي الهزات القارية الناجمة عن حركة الصفائح التكتونية في القشرة الأرضية وتصادمها المستمر على سطوح التماس والفوالق الفاصلة بينها، وينتج من هذه الحركة تسليط ضغوط شديدة على طبقات الصخور الواقعة على سطح التماس فعندما تصل هذه القوى حدا ليس بأمكان الطبقات الصخرية تحمله عندئذ تتشقق وتنهار ويتم تحرير الطاقة الكامنة بسبب الانضغاط الحاصل بصورة مفاجئة وسريعة، ويكون القسم الأعظم من هذه الطاقة طاقة حركية بشكل موجات تتسبب باهتزاز سطح الأرض كما تطلق أيضا طاقة حرارية بفعل الاحتكاك بين الطبقات الصخرية ناهيك عن طاقة صوتية مسموعة، كما قد ينتج عنها تصدعات وتشققات على سطح الارض.

وتجدر الإشارة الى ان قشرة الأرض تتكون من عدد من الصفائح التكتونية المتحركة المتصادمة مع بعضها بسبب ما يعرف بالزحف القاري (Continental Drift) وهي المبينة في (الشكل 1) الذي يؤشر حدودهذه الصفائح كما مبين بالخطوط الحمراء والمتمثلة بفوالق ضخمة وبالتالي فهي تمثل نطاقات زلالية نشطة تتركز فيها وحولها مواقع الفعالية الزلزالية (المبينة باللون الأصفر) حول العالم [1].



الشكل 1: صفائح القشرة الأرضية التكتونية الرئيسية في الكرة الأرضية [1].

ومن هذه الصفائح الصفيحة الافريقية وامتدادها في الصفيحة العربية او ما يسمى بالدرع العربي التي تضغط بشدة على الصفيحة الاوراسية وتعمل على دفعها مما يسبب الزلازل في حزام طوروس - زاكروس في منطقة الشرق الاوسط وكما موضح في (الشكل 2)[1][2].



الشكل 2: الصفائح التكتونية في القشرة الأرضية مع ملاحظة الصفيحة الافريقية وصفيحة الدرع العربي [2].

اما النوع الثاني من الهزات فهو ما يعرف بالهزات المحتثة (Induced Earthquakes) وهي التي تنجم عن الفعاليات البشرية. وقد تم تسجيل ما يزيد على 700 من هذه الهزات خلال الفترة 1868- 2016 وتنتج هذه الهزات من العديد من العوامل أولها الاملاء او التفريغ السريع لخزانات السدود الكبيرة والتغير الفجائي للضغط الستاتيكي المسلط من ثقل عمود الماء في الخزان على الطبقات الأرضية المكونة لقعرة وبالتالي تنشيط فوالق أرضية ساكنة في المنطقة وتحريكها. فقد لوحظ حدوث مثل هذه الهزات لخزانات

لسدود يزيد ارتفاعها عن 100 متر. ومن الحالات المسجلة هزة خزان سد عويد فودا (Oued Fodda) في الجزائر سنة 1932 وكذلك حالة سد خزان قوينا في الهند (Koyna Dam) الذي سبب هزة (كوينا گار) عام 1967 التي قتلت 180 شخصا وشعر بها الناس في بومبي على بعد (180) كيلومتر، (الشكل 3).



الشكل 3: سد عويد فودا في (1) و (2) في الجزائر، وسد قوينا (3) و(4) في الهند .

ومن الحالات الأخرى المسببة للهزات المحتثة اعمال التعدين للمقالع والمناجم والاستغلال الكثيف للمياه الجوفية وعمليات استخراج الفحم الحجري والمعادن والبترول والغاز وكذلك عمليات حقن الماء في ابار النفط لرفع مستوى الإنتاج في الابار بالإضافة التفجيرات النووية تحت الأرض . وتعمل كافة هذه العوامل على تحريك فوالق موضعية في المنطقة المحيطة مسببة انهيار وتحطم الطبقات الصخرية وانطلاق هزات أرضية . ولن نتطرق في هذا المقال الى ذكر المزيد عن هذه الهزات حيث انه مخصص للبحث في الهزات الطبيعية وبأمكان القارىء ان يستزيد من المعلومات عنها من المصدر[3].

2. خواص الهزات الأرضية

2.1 الخواص الموقعية

تحدد خواص الهزات الأرضية بمواقع حدوثها الجغرافي أي خطوط الطول والعرض ووقت وقوعها ومدتها وكذلك الطاقة المتحررة عنها. وتسمى نقطة وقوعها في باطن الأرض بالبؤرة (Focus) ويعرّف عمق هذه النقطة عن سطح الأرض بالعمق البؤري (Focal Depth) أما طول المسقط الافقي لبعد الهزة

لنقطة ما عن بؤرة الهزة فيسمى بالبعد البؤري (Focal Length) لتلك النقطة. ويكون البعد او القرب لأي موقع من بؤرة الهزة أحد الأسباب في تحديد مقدار التخريب والدمار الذي يصيب ذلك الموقع.

2.2 الموجات الزلزالية الناتجة عن الهزات الأرضية

عند حصول زلزال في موقع ما من القشرة الأرضية ينطلق عنه مباشرة نوعان من الموجات ألمرنة (Elastic Waves) هي:

أولا: الموجات الباطنية (Body Waves) وتنتشر في باطن الأرض وتكون على نوعين:

أ- ألموجات ألطولية (Longitudinal Waves) ويكون اتجاهها موازي لمسار الموجة وهي الموجات الناتجة عن الانضغاط (Compression Mode) وتسمى أيضا بالموجات الأولية (Waves Primary) او (P- Waves) وتنتقل هذه الموجات خلال المواد الصلبة والسائلة على حد سواء.

ب – الموجات المستعرضة (Transverse Waves) ويكون اتجاه ذبذبتها باتجاه عمودي لمسارها وهي الموجات الناتجة عن جهد مماس (Tangential Stress) أي ناتجة عن فعل القص (Shear Mode) وتسمى أيضا بالموجات الثانوية (Secondary Waves) ويرمز لها (S-Waves) وتكون اقل سرعة من الموجات الطولية وتنتقل في المواد الصلبة فقط.

ثانيا: ألموجات ألسطحية (Surface Waves) وهي الموجات المنتقلة على سطح الأرض او قربها وهي التي تسبب التخريبات والدمار عند حصول الزلزال اعتمادا على مدى تطابق التردد الموجي لها مع الترددات الأساسية للأبنية والمنشأت او ما يعرف بظاهرة الرنين (Resonance)، وتقسم أيضا الى شكلين من الموجات:

أ- موجات رايلي (Rayleigh Waves) وهي الموجات السطحية التي تحاول تشويه السطح بالانضغاط.

ب- موجات لوف (Love) وهي الموجات المستعرضة السطحية التي تسبب تشويهات القص على السطح.

وتعتمد سرعة الموجات السطحية على ترددها كما تعتمد على طبيعة التركيب الجيولوجي القريب من سطح الأرض والطبقات الجيولوجية التي تنتقل الموجة خلالها.

2.3 . ديناميكية الهزات الأرضية والهزات الارتدادية (Aftershocks) .

يمكن معرفة الهزة الأرضية من الأمور التالية :

الأول عند حصول تشقق في القشرة الأرضية ، والثاني عند حصول تحرير عشوائي وسريع للطاقة المخزونة في باطن الأرض نحو سطحها. أما الامر الثالث فمن خلال انبعاث الموجات الزلزالية التي تنتشر خلال باطن الأرض وعلى سطحها.

وتتلخص ميكانيكية حصول الهزة فيما يلي :

أ- ازدياد حدة الاجهاد في منطقة محددة من القشرة وتمركزها حول فالق معين وقد تصل حدة الاجهاد في البؤرة حدا عاليا قد يبلغ (100) بار.

ب- حصول تشقق على طول الفالق او جزء منه ووقوع الهزة الرئيسية حيث تتحرر بعض من الطاقة ألمخزونة، وبذلك تنقص الطاقة المخزونة في مجال الاجهاد بمقدار يساوي الطاقة المنبعثة كموجات زلزالية وحرارة وطاقة صوتية.

ج - ولكي يستعيد الوسط استقراريته فان ذلك يتم بتحرير الاجهادات المتبقية على شكل هزات ارتدادية او ثانوية (Aftershocks) تعقب الهزة الرئيسية وعادة ما تكون اقل عنفا منها.

ولغرض توضيح النقطة الأخيرة لابد من ان نذكر بأن الطاقة تتناسب مع مربع الاجهاد فعند انخفاض الاجهاد في البؤرة بمقدار(50%) مثلا فأن هذا يعني تحرير ما يساوي (75%) من الطاقة الكامنة، وهذا يعني نقصان بالطاقة في القشرة في موقع الهزة عن مستوى التوازن مما يؤدي الى سريان الطاقة نحو المناطق التي استنفذت فيها لاسترجاع حالة ألتوازن. ويأخذ هذا السريان أوجه عديدة كطاقة حرارية او طاقة كامنة، وتكون حالة الاجهاد والتشوه ابعد ما تكون عن حالة الاستقرار والتوازن مما يؤدي الى زيادة الاجهاد التدريجي ووصوله مرة أخرى الى المستوى الحرج وإطلاق عدد من الهزات المتتالية الثانوية (Aftershocks) التي تعقب الهزة الرئيسية وتكون اقل مقدارا منها حيث ان معظم الطاقة قد تم استنفاذها في الهزة الرئيسية.

2.4 . الهزات الأرضية الناجمة عن التفجيرات.

تعتبر هذه الهزات من الهزات المحتثة كونها من تأثيرات العامل البشري. ويمكن لأي انفجار في باطن الأرض اوعلى سطحها ان يكون مصدرا للهزات الأرضية. وبالمقارنة مع أي هزة أرضية اعتيادية فأن المصدر يعتبر مصدر نقطي (Point Source) وتكون الموجة البدائية المنبعثة من الانفجار كروية وناتجة عن الانضغاط (Compression Mode) . اما الموجات الزلزالية الملتقطة في محطات الرصد فسوف تكون بشكل رئيسي باطنية وطولية (P- Waves) وتقدر الطاقة (Eُ) المتحررة من الانفجار او ما يعرف بحصيلة الانفجار (Yield) بما يكافئها عادة من مادة (تي. أن . تي) ، حيث ان حصيلة الطن

الواحد من هذه المادة تساوي ($10^{16} \times 4$) ارك، وعلى هذا الأساس فأن انفجار نووي بقوة (15) كيلو طن ,يساوي قوة قنبلة هيروشيما يكون ذو حصيلة قدرها ($10^{20} \times 6$) أرك.

لذا نرى أنه بالإمكان من خلال دراسة الموجات المسجلة للهزة الأرضية الطولية معرفة ما إذا كان السجل الزلزالي ناتج عن أسباب طبيعية او تفجير نووي وتستعمل طرق معينة للتمييز بين الزلزال والتفجير للتحقق من وقوع هذه التفجيرات. كما يمكن تقدير مقدار الانفجار من خلال معرفة حصيلة الانفجار محسوبة بالكيلوطن بشرط معرفة طبيعة الصخور في منطقة التفجير وفي الوسط الذي انتقلت فيه الموجات. وقد أمكن التوصل الى المعادلة التالية لهذا الغرض :

$$m= 0.67 \log_{10} (Y) + K + 0.3$$

حيث إن (Y) هي حصيلة الانفجار بالكيلوطن وان قيمة (K) تساوي (4.25) إذا ما كانت الصخور من الجرانيت بينما تساوي(3.25) للرسوبيات الجافة (Dry Alluvium) وعليه فأن قنبلة مثل قنبلة هيروشيما بشحنة قدرها (20) كيلوطن تسبب هزة تعادل (5.4) على مقياس ريختر [4]. اما الطاقة المتحررة من اول تفجير نووي اختباري قامت به الولايات المتحدة عام (1945) في صحراء مكسيكو وهو تفجير ترنيتي (Trinity) الاختباري فقد كانت تعادل (25) كيلو طن من مادة (تي. أن. تي)[5].

مقاييس الزلازل

هناك في الواقع عدد من مقاييس الزلازل إلا ان أكثرها شيوعا هو مقياس ريختر (Richter) نسبة الى العالم الذي وضعه ويقيس هذا المقياس مقدار قوة الزلزال (Magnitude) ويرمز لهذا المقدار بالحرف (M) الذي يتم احتسابه من لوغاريتم سعة أكبر الموجات الزلزالية التي يتم التقاطها حيث يجري تسجيل عدة أنواع من الموجات التي يمكن التقاطها بواسطة جهاز قياس الزلازل (Seismograph) وتسجيلها على شكل خطوط بيانية تسمى (Seismograms) وهي منحنيات متغيرة زمنيا وتظهر ألتغير الزمني لتكسرالقشرة الأرضية عند حدوث الهزة، لذلك وجد العالم ريختر بأن بالأمكان وصف الطاقة المتحررة والتي تتناسب مع سعة الموجة المسجلة من خلال قياس الموجات القصية او المستعرضة (Shear or Transverse S- Waves)، وبما أن الطاقة المتحررة تتناسب طرديا مع سعة الموجات الزلزالية المسجلة فلها بالتالي علاقة طردية مباشرة مع مقدار الزلزال، وعلى هذا الأساس فقد تم االتوصل الى العلاقة التالية بين مقدار الزلزال (M) والطاقة المتحررة (E) :

$$\text{Log}_{10}(E) = 1.5 M + 11.4 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

واحيانا تكتب المعادلة بالشكل التالي :

$$Log10(E) = 1.7M + 10 \ldots\ldots\ldots\ldots(2)$$

وتكون (E) المحسوبة من المعادلتين مقدرة (بألارك) . وقد بلغت اقوى الزلازل المسجلة لغاية وقت وضعه من قبل ريختر (8.9) درجة يقابلها طاقة متحررة تساوي (10^{25} ارك) لذا فقد اعتمد ريختر مقياسه من (9) درجات كحد اقصى ، إلا ان وقوع زلازل اقوى منذ ذلك الحين منها هزة فالديفيا (تشيلي 1960) البالغة (9.5) درجات وهزة الولايات المتحدة (الاسكا 1964) البالغة (9.4) درجات وهزة اندونيسيا (سومطرة 2004) البالغة (9.2) درجات وهزة اليابان (طوكيو 2011) بقوة (9.1) درجات وكذلك هزة روسيا (كامجتكا 1952) بقوة (9.0) درجات غيرت من مفهوم الحد الأقصى الذي وضعه ريختر في الثلاثينيات من القرن المنصرم [6].

وهناك قصور آخر في مقياس ريختر يتمثل بأن نتائجه تكون اكثر دقة بالنسبة للمواقع القريبة التي لايتجاوز بعدها عن نقطة الرصد بحدود (100) كيلومترأما الهزات الكبيرة والبعيدة المصدر فيتم قياس سعة الموجات الطولية (Compression or Longitudinal P-Waves) المنبعثة من الهزة ويمكن عندئذ ربط المقياسين بالمعادلة التقريبية التالية (Marshal 1970) :

$$M= 2.08m – 5.65 \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

وهناك مقياس اخر هو مقياس وصفي يقيس عنف الارتجاج الناجم عن الهزة الهزة بواسطة وصف الظواهر الحركية المرتبطة بها (Intensity Scale) ويسمى مقياس ميركالي المعدل (Modified Mercalli Scale) المتكون من (12) درجة ويرمز للشدة حسب هذا المقياس بالحرف (I) ويمكن تقدير شدة الهزة بسهولة من قبل أي راصد ذو خبرة حسب المؤشرات المبينة في الجدول (1).
وكثيرا ما تدعو الحاجة الى تخمين تعجيل الهزات الأرضية استنادا على تقارير شدة الهزات حسب مقياس ميركالي المعدل من اجل استعمال هذا التعجيل لآغراض التصاميم وقد توصل غوتنبرغ وريختر عام 1945 من إيجاد علاقة تجريبية (Empirical) بينهما وفقا للمعادلة التالية:

$$Log_{10}(a) = I/3 -1/2 \ldots\ldots\ldots\ldots(4)$$

حيث أن (a) تمثل التعجيل الأرضي المقاس بالوحدة (gal) التي تساوي (1سم / ثا^{2}). وبهذه الطريقة أيضا يمكن تخمين قوة الزلازل التي حصلت عبر التاريخ بالاستناد على وصف تاثيراتها الواردة في المخطوطات القديمة .وهكذا تسنى لعالم الزلازل امبريزي (Ambrasyes) من تخمين قوة الزلازل التي حصلت قديما في العراق وإعطاء الخلفية الزلزالية التأريخية (Historic Sieismicity) لها.\

جدول 1. يبين تفاصيل مقياس ميركالي المعدل

درجة الشدة	التأثيرات
1	لا يشعر بها إلا عدد قليل من الناس وتحت ظروف خاصة. تُسجل بواسطة السيزموغراف ولاتؤثر في الأبنية الضعيفة ولا الأبنية القوية .
2	يشعر بها عدد قليل من الناس في حالة السكون ولاتؤثر في الأبنية الضعيفة ولا الأبنية القوية وتتأرجح الاجسام الرقيقة المعلقة مثل الصور والمرايا او الثريات.
3	يشعر بها الناس بصورة واضحة في البنايات كما قد تتأرجح العربات الساكنة ولاتؤثر في الأبنية الضعيفة ولا الأبنية القوية. وبالإمكان قياس الفترة الزمنية التي تستغرقها وتعادل هزة مقدارها (3.8) على مقياس ريختر.
4	يشعر بها الجميع داخل البنايات ويستيقظ النائمون ولاتؤثر في الأبنية الضعيفة ولا الأبنية القوية. تتأرجح العربات ويسمع صرير الشبابيك والابواب وتعادل هزة مقداره (4.3) على مقياس ريختر
5	يشعر بها الجميع ويسقط بعض طلاء الجدران ولاتؤثر في الأبنية القوية . تتكسر الاواني الزجاجية وزجاج النوافذ وتتوقف الساعات البند ولية عن العمل.
6	يشعر بها الجميع ويكون الكثير منهم في حالة هلع وخوف. كما تتهدم المداخن وتتساقط طلاءات المباني. لكنها لا تؤثر في الأبنية القوية . تتحرك قطع الأثاث من مكانها وتنقلب بعض الحاجات. وتعادل هزة أرضية بمقدار (5.3) على مقياس ريختر.
7	يهرب الجميع خارج البنايات ويشعروا بها داخل العربات المتحركة. وتحصل تدميرات بسيطة للأبنية الضعيفة لكنها لا تؤثر في الأبنية القوية. كما يمكن ملاحظة الموج في البرك والبحيرات وتحصل انهيارات على ضفاف الأنهار ذات الانحدار الشديد. وتعادل هزة أرضية بمقدار (5.8) على مقياس ريختر.
8	يعم الرعب وتحصل تدميرات كبيرة وتخريب عام للمباني الضعيفة وتحصل تخريبات متوسطة للأبنية القوية وتسقط النصب التذكارية وتنقلب الأثاث وتحصل تغيرات في مناسيب المياه في الابار. وتعادل هزة أرضية بقوة (6.3) على مقياس ريختر.
9	يعم الرعب والهلع ويحصل تدمير شامل للمباني الضعيفة وتتحطم بعض التأسيسات وتتكسر الانابيب المدفونة تحت سطح الأرض كما تتشقق الأرض وتعادل قوة الهزة (6.8) على مقياس ريختر.
10	يعم الرعب والهلع ويحصل تدمير شامل للمباني الضعيفة وتنهار المباني المشيدة من الطابوق بينما تصمد المباني ذات الهياكل القوية وتتدمر التأسيسات بصورة كاملة وتتشقق الأرضية بكثرة وتنحني قضبان سكك الحديد وتطفح مياه الأنهار على الضفاف وتحصل انهيارات أرضية كبيرة (Land Slides) . وتعادل قوة الهزة (7.3) درجات على مقياس ريختر.
11	يعم الرعب والهلع ويحصل تدمير شامل وتام للمباني الضعيفة ولا يصمد إلا عدد قليل من المباني القوية كما تحصل تشققات أرضية واسعة وتظهر انحدارات الفوالق وتصبح خطوط الانابيب تحت الأرض عديمة الفائدة وتعادل قوة هزة بمقدار (7.8) درجة على مقياس ريختر.
12	يعم الرعب والهلع ويحصل تدمير عام وشامل لكافة الأبنية ويتغلب تعجيل الهزة على التعجيل الأرضي أي يتجاوز 950 سم / ثا² بحيث تتقاذف الاجسام في الهواء.

وهناك مقاييس اخرى للزلازل منها ما يسمى بمقياس العزم الزلازالي (Seismic Moment) الذي

وضعه العالم الياباني أكي (Aki 1966) ولايتسع المجال للخوض في تفاصيله الآن بل يمكن الرجوع الى ألكتاب الموسوم "الزلازل وتاثيرها في السدود ألركامية" للمهندس الاستشاري نصرت آدمو (1985) لقراءة المزيد عنه[7].

3. هزة قهرمان مرعش- غازي عينتاب يوم السادس من شباط 2023.

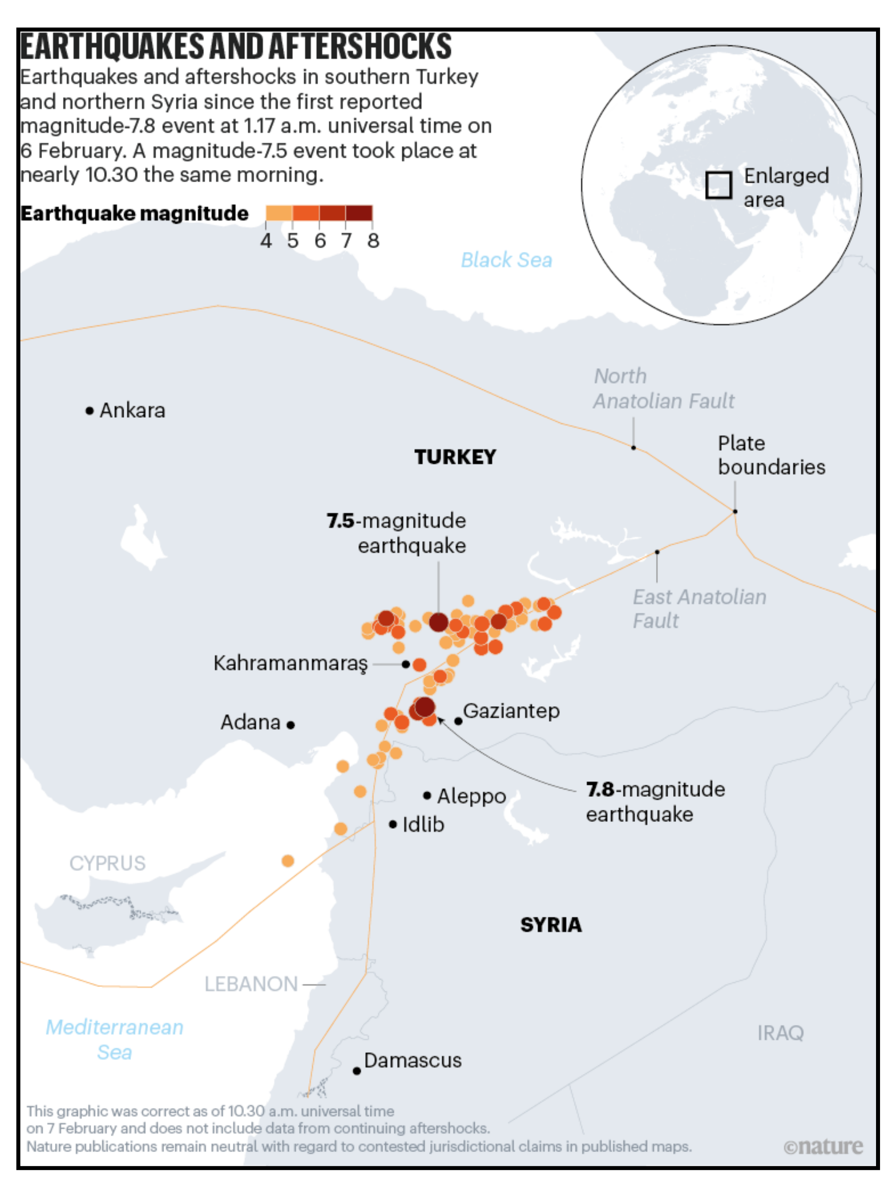
لقد كان من الضروري إعطاء بعض المعلومات الموجزة عن الزلازل وقياساتها واثارها قبل الخوض في نفاصيل الزلال الأخير الذي ضرب مناطق واسعة في جنوب شرق تركيا وامتدت اثاره الى شمال غرب سوريا وذلك في الساعة (1:17) حسب التوقيت العالمي من فجر يوم السادس من شباط 2023. و كانت قوة الهزة الرئيسية (7.8) على مقياس ريختر تبعتها بعد تسعة ساعات هزة ارتدادية قوتها (7.5) أكملت الدمار الذي سببته الهزة الأولى واتت على ما تبقى من مباني كانت قد تضررت ولم تنهار بعد. وبحساب بسيط من المعادلات الي شرحناها فأن مقدار الطاقة التي اطلقتها الهزة الرئيسية كانت تبلغ ما مقداره حوالي (10^{23}) ارك أي حوالي (170) ضعف الطاقة التي اطلقتها قنبلة هيروشيما ,وليس (500) كما أوردت بعض وسائل الاعلام العالمية . وتم تسجيل عدة الاف من الهزات الارتدادية الأخرى على مدى الأيام اللاحقة.

من الملاحظ بأن تركيا تقع على صفيحة الاناضول الثانوية المحصورة بين فالقين كبيرين هما فالق الاناضول الشمالي وفالق الاناضول الشرقي وهي جزء من الصفيحة الاوراسية ألكبرى المبينة في (الشكل 1) وتعتبر هذه الصفيحة في حالة اصطدام مستمر مع الصفيحة التكتونبة العربية (الدرع العربي) التي تقع سوريا فيها والتي تضغط وتدفع تركيا غربا باستمرار و يقدر بعض العلماء البريطانيون بأن تركيا تتحرك نتيجة لذلك بمقدار (2) سمنتمتر نحو الغرب سنويا وذلك على امتداد فالق الاناضول الشرقي مما يجعل حوالي نصف طول هذا الفالق يحتدم بالهزات الأرضية. لذ فأن بؤرة الهزة الرئيسية البالغة (7.8) درجات على مقياس ريختر كانت في مجال هذا الفالق على بعد حوالي (26) كيلومترا ألى الشرق من مدينة نورداغي (Nurdaği) في محافظة غازي عينتاب التركية وبعمق يبلغ (17.9) كيلوميتر تحت سطح الأرض، ونظرا لأمتداد الفالق في سوريا بين مدينتي ادلب وحلب فقد شملت الهزة كافة المواقع المحيطة بهما أيضا.

اما الهزة الارتدادية ألاولى ألبالغة قوتها (7.5) على مقياس ريختر فقد حدثت على بعد (4) كيلومترات ألى الجنوب من أيكن اوزو (Ekinözü) في محافظة كريم نگار(Karimnagar) ويمكن الرجوع الى (الشكل 4) لمعرفة التفاصيل الجغرافية لموقع الهزة الرئيسية ومواقع العديد من الهزات الارتدادية اللاحقة التي حصلت لغاية الساعة 10.30 حسب التوقيت العالمي من صباح نفس اليوم. وبحسب الدراسات العلمية الجارية فأن مركز مدينة عينتاب يمكن ان يتعرض في أي لحظة الى تدمير متوسط الى عالي من

هزة أرضية مقدارها (6.5) على مقياس ريختر وذلك بسبب ان معظم مبانيها القليلة الارتفاع مشيدة من الطابوق ومتراصة بعضها مع البعض الاخر.

ومما يذكر فأن عام 1999 شهد وقوع هزة بمقدار (7.4) على مقياس ريختر على بعد (11) كيلومتر جنوب أزمت (Izmit) الواقعة على بعد 100 كيلومتر شرق إسطنبول أدت الى خسائر بالارواح بلغت (17000) قتيل وشردت (25000) شخصا مما جعل الحكومة التركية تصدر كود زلزالي ذو متطلبات عالية جدا في عام (2000) يشمل مواصفات المباني والمنشأت كما فرضت التامين الاجباري على المباني أيضا. أما المباني التي شاهدنا انهيارها في الهزة الأخيرة فأما ان تكون مبنية قبل عام (2000) او ان المقاولين الذين شيدوها لم يلتزموا بمتطلبات هذا الكود خلافا للقانون.



الشكل 4 خارطة توضح التفاصيل الجغرافية وموقع الهزة الرئيسية مع مواقع العديد من الهزات الارتدادية التي حصلت لغاية الساعة 10.30 حسب التوقيت العالمي من صباح يوم السابعمن شباط إضافة الى تفاصيل الصفائح التكتونية والفوالق الرئيسية في المنطقة [8].

اما الدمار الواسع الذي شاهدناه في سوريا سواءا في حلب او ادلب او باقي التجمهات السكانية فهو نتيجة انهيار العدد الكبير جدا من المباني القديمة كذلك فان (11) سنة من الصراع المسلح جعلت حتى المباني الجديدة غير قادرة على الصمود فقد استخدمت فيها مواد رديئة وأساليب انشاء رخيصة ولم يكن بالامكان تطبيق أي كود او مواصفة تأخذ موضوع السلامة عامة او السلامة الزلزالية خاصة بعين الاعتبار[8].

5. أخطار الهزات الأرضية على السدود والمعايير الزلزالية في تصميمها

قبل الخوض في هذه الاخطار لابد أولا من إعطاء فكرة موجزة عما سببته الهزات الأرضية من اضرار للسدود في العالم لحد الان وعن أفضل الطرق التصميمية لتقليل هذه الاخطار ومنها انهيارها. ففي (الجدول 2) قائمة بالسدود الكبيرة التي انهارت بسبب الهزات الأرضية في الفترة (1896- 2000) مبينا فيه اسماء وقوة الهزات مع تواريخ وقوعها والبلدان التي وقعت فيها وقد تراوحت قوة هذه الهزات من (5.0) ألى (7.6) درجات على مقياس ريختر [9].

جدول 2: قائمة بالسدود المنهارة بسبب الهزات الأرضية للفترة (1896- 2000) [9].

Dam Name	Country	Type	Height [ft]	Earthquake name	Earthquake Date	Magnitude	Distance [km]
Augusta	USA	E	-	Charleston	13 Aug 1886	7.0	180,0
Vulcano Lake	Mexico	E	12	Imperial Valley	22 June 1915	5.3	0.0
Fairmont	USA	E	-	Imperial Valley	22 October 1916	5.0	22.0
Sheffield- 2	USA	E	25	Santa Barbra	29 June 1925	6.3	11.2
Barahona	Chile	T	200	Talca	01 October 1928	8.4	160,0
Vulcano Lake	Mexico	E	12	El Centro	18 May 1940	7.1	0.0
Hosorogi	Japan	E	28	Fukui	28 January 1948	7.3	4.8
Coleman	USA	Comp	-	Fallon	23 August 1954	6.7	24.0
Saguspe	USA	E	-	Fallon	23 August 1954	6.7	24.0
Rogers	USA	M	-	Fallon	23 August 1954	6.7	80.0
El Soldado	Chile	T	-	Chile	28 March 1965	7.1	-
El Cobre	Chile	T	-	Chile	28 March 1965	7.1	35.0
Hayagakenuma	Japan	E	40	Tokachi- Oki	16 May1968	-	-
Ichrigoya	Japan	E	26	Tokachi- Oki	16 May 1968	-	-
Gamanosawa	Japan	E	34	Tokachi- Oki	16 May 1968	-	-
Shorey	Peru	T	-	Peru	1969	-	-
Huachopolca	Peru	T	-	Peru	1970	-	-
Salamanca	Chile	T		Chile	08 July 1971	7.5	110,0
Illapel	Chile	T	26	Chile	08 July 1971	7.5	100,0
Cerro Negro	Chile	T	-	Chile	08 July 1971	7.5	-
Mochinkoshi 1	Japan	T	98	NrIzu-Oshima	14 January 1978	7.0	35
Cerro Negro-2	Chile	T	105	Chile	03 March 1985	7.7	-
Veta De Aqua	Chile	T	-	Chile	03 March 1985	7.7	-
Upper Koyoen	Japan	E	30	Kobe	17 January 1995	6.9	-
Central Koyoen	Japan	E	30	Kobe	17 January 1995	6.9	-
Niteko	Japan	E	-	Kobe	17 January 1995	6.9	<10
Shih- Kang	Taiwan	CG	82	Chi- Chi	17 September 1999	7.6	0.0
Legend E= Earth dam. **Comp** = Composite (fill/ Concrete), **M**= Masonry, **T**= Tailing, **CG**= Concrete Gravity							

وهناك العديد من الحالات التي أحدثت فيها الهزات اضرارا شديدة في سدود كبيرة دون ان تتسبب بانهيارها كما مبين في (الجدول 3) [9].

جدول 3: قائمة بالسدود التي تضررت بشدة ولم تنهار نتيجة للهزات الأرضية في العالم [9].

Dam Name	Country	Type	Height [ft.]	Earthquake name	Earthquake Date	M	Distance [km]
Ono	Japan	E	161	Kanto	01 September 1923	8.2	51.0
Misc. Embankments	Japan	E	50/8	Ojka	1939	6.6	-
Hebgen [1]	USA	E	90	Hebgen Lake	17 August 1959	7.1	16.0
Hsinfengkiang	Chile	CGB	344	Hsinfengkiang	19 March 1962	6.1	1.1
Bella vista	Chile	T	-	Chile	28 March 1965	7.1	55.0
Koyna [1]	India	CG	338	Koyna	11 December 1967	6.5	3.0
Yeyuan	China	E	82	Bohai Gulf	18 July 1968	7.2	?
U. Van Norman	U SA	HF	80	San Fernando	09 February 1971	6.5	11.2
El Cobri	Chile	T	-	Chile	08 July 1971	7.5	80.0
Lliu	Chile	T	-	Chile	08 July 1971	7.5	-
Shimen Ling	China	E	147	Haicheng	04 February 1975	7.3	33.0
Touho (Douhe)	China	E	72	Tangshan	28 July 1976	7.8	-
Mochinkoshi No2 [2]	Japan	T	98	Nr i- O Atssshk	15 January 1978	5.8	-
La Palma	Chile	T	26	Chile	03 March 1985	7.7	-
Austrian [1]	USA	E	185	Loma Prieta	17 October 1989	7.1	
Masy way [2]	Luzon	E	82	Philippines	16 July 1990	7.7	19.2
Niwajkumine	Japan	E	?	Hokkaido Nans	12 July 1993	7.8	74
Lower San Fernando	USA	HF	125	Northridge	17 January 1994	6.7	9.4
Lower Koyoen	Japan	E	30	Kobe	17 January 1995	6.9	-
Zhong Hai	China	CG	82	Lijang	03 February	7.0	4.0
Legend E= Earthfill. **CGB**= Concrete Gravity Buttress. **CG**= Concrete Gravity. **HF**= Hydraulic Fill. **T**= Tailing							

هذا وقد اغفلنا عن ذكر الاعداد الكبيرة جدا من السدود الصغيرة التي تأثرت بالهزات الأرضية حيث ان تلك السدود لم تكن تحقق معاير الهيئة الدولية للسدود الكبيرة (ICOLD) سواء من حيث الارتفاع او حجم الخزان او طبيعة التصميم وخصوصية الأسس. ويبين الجدولان المذكوران في أعلاه العدد الكبير من السدود الاملائية من نوعي املائيات التعدين (Tailings Dams) او الجرف الهيدروليكي (Hydraulic Fill Dams) التي انهارت او تضررت ويعود السبب الرئيسي في ذلك الى عدم خضوع هذين النوعين في الغالب للمعايير الزلزالية في التصميم او الدقة العالية في السيطرة النوعية خلال الانشاء. أما العدد المتبقي من السدود الاملائية الكبيرة التي انهارت فقد يكون من أسباب انهيارها قدمها وعدم الفهم الجيد للمخاطر الزلزالية عند انشائها. لذلك فأن من الأهمية بمكان أن يكون المهندس المصمم ملما بهذه المخاطر وطرق تجاوزها عند تصميم أي سد.

وكما سبق ونوهنا فأن الخطورة على أي سد الناجمة عن أي هزاة ارضية انما ترتبط بالنشاط الزلزالي في المنطقة المحيطة ببؤرة تلك الهزة. وفي حالة هزة تركيا (6 شباط 2023) فأنها تؤكد النشاط الزلزالي

القوي جدا في ألحافه الشمالية من الصفيحة العربية (Arabian Plate) أي منطقة جبال طوروس في جنوب تركيا وجبال زاكروس في شرق العراق مما يتطلب دراسة مدى تأثر كافة السدود ألكبيرة الواقعة في المنطقة المحيطة بمركز الهزة الأخيرة لمعرفة درجة سلامة السدود الواقعة ضمن مدى تاثير هذه الهزة والمخاطر المحيطة بها حيث ان المنطقة برمتها مرشحة لوقوع هزات مستقبلية فيها قد تكون بنفس القوة ان لم تكن اقوى منها .

ولأجل احتساب ألنشاط الزلزالي في أي منطقة ومن ثم احتساب الخطورة الزلزالية (Seismic Risk) التي قد يتعرض لها اي من السدود داخل تلك المنطقة لابد من اعداد قائمة بعدد الهزات الأرضية التي وقعت فيها سابقا مع مقادير تلك الهزات وقوتها على مقياس ريختر والمسافات بين تلك الهزات ومواقع السدود المعنية ليصار بعد ذلك إيجاد العلاقة بين تكرار حدوث الهزات (N) وقوة الهزات **(** M**)** على مقياس ريختر وهي عادة ما تكون علاقات لوغاريتميه ويمكن جعلها بشكل خطي **(** Linear) اذا ما رسمت على ورق بياني لوغاريتمي وتأخذ الصيغة العامة التأليه :

$$\text{Log}\,(N)_s = a + b\,M_s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

ثم لاحتساب الخطورة الزلزالية المؤثرة على كل السدود ضمن نطاق الهزة لابد قبل كل شيء من دراسة جيولوجية المنطقة الفاصلة بين بؤرة الهزة وموقع السد لأن هذه الجيولوجيا تشكل العامل الأساسي في انتشار الموجات الزلزالية المنبعثة عن الهزة ومدى تبعثر طاقتها وتوهينها واخمادها وبالتالي فهي تحدد التعجيل الأرضي المؤثر على السد الناجم عن الموجات الزلزالية الواصلة الى موقعه بعد أن تُخمد جزأ من الطاقة المنبعثة من مركز الهزة و يحتم هذاعلى المصمم معرفة علاقات الاخماد **(** Attenuation Relationships**)** السارية المفعول في تلك المنطقة**.**

وهناك عدد من علاقات الاخماد المشتقة للعديد من مناطق العالم التي يمكن للمصمم ان يختار منها ما يتفق مع طبيعة وجيولوجية المنطقة تحت الدراسة. فعلى سبيل المثال تم استعمال خمسة معادلات مختلفة من معادلات الاخماد لغرض حساب الخطورة الزلزالية في موقع سد الموصل عند اعداد تصاميمه من اجل تدقيق حساسية النتائج تمهيدا لأستعمال طريقة كورنيل (Cornell) لاستخراج التعجيل الأرضي الذي يمكن ان يسجل في موقع السد واحتمالات تحققه [10]. وبهذه الطريقة يمكن الحصول على قيمة التعجيل الأرضي في النقاط على المسافات المختلفة من بؤرة الهزة مع احتمالات تجاوز هذه ألقيم (Exceedence Probability**)** خلال العمر ألافتراضي للسد تحت النظر وهو ما مطلوب معرفته لأغراض التصاميم.

كما يمكن بهذه ايضا الربط بين التعجيل الأرضي الأقصى ألمتوقع في ألموقع واحتمالية تجاوز هذا التعجيل مع بيان فترة الرجوع (Return Period) خلال العمر ألافتراضي للسد. وتكون المحصلة النهائية من كل هذه الحسابات التوصل الى المعايير الزلزالية لتعجيل الهزة التصميمي ويتمثل ذلك بما يلي:

أولا. تعجيل الهزة التشغيلية الأساسية (Operational Based Earthquake-OBE) وهوالتعجيل ألذي يجب أن يتحمله السد بدون حصول أية أضرار فيه أذا ما كانت احتمالية ألتجاوز بحدود (20%) ويعني ذلك إمكانية حصوله مره واحده كل (280) سنه او مره كل (450) سنه اذا ما كانت احتمالية ألتجاوز (30%) و كان هذا التعجيل في حالة سد الموصل يساوي (0.15g).

ثانيا. تعجيل ألهزه الأرضية التصميمية القصوى (Maximum Design Earthquake-MDE) وتسمى أحيانا بالهزة الأرضية القصوى الممكنة (Maximum Credible Earthquake-MCE) باحتمالية وقوع مره كل 10000سنه وهو التعجيل الذي يجب ان يتحمله السد مع القبول بوقوع أضرار دون أن ينهار وقد بلغ بموجب حساباتنا (0.25g).

وكانت الهزات التي اعتمدت في هذه الحسابات هي كافة الهزات التي وقعت ضمن دائرة نصف قطرها (250) كيلومتر حول موقع السد والمسجلة في أربعة مراكز رصد عالمية لغاية عام 1995 أضافة الى الهزات التأريخية التي وقعت خلال الفترة (1280- 1884) واهملت الهزات التي كانت قوتها اقل من (4.5) درجات على مقياس ريختر بأعتبارها غير مؤثرة.

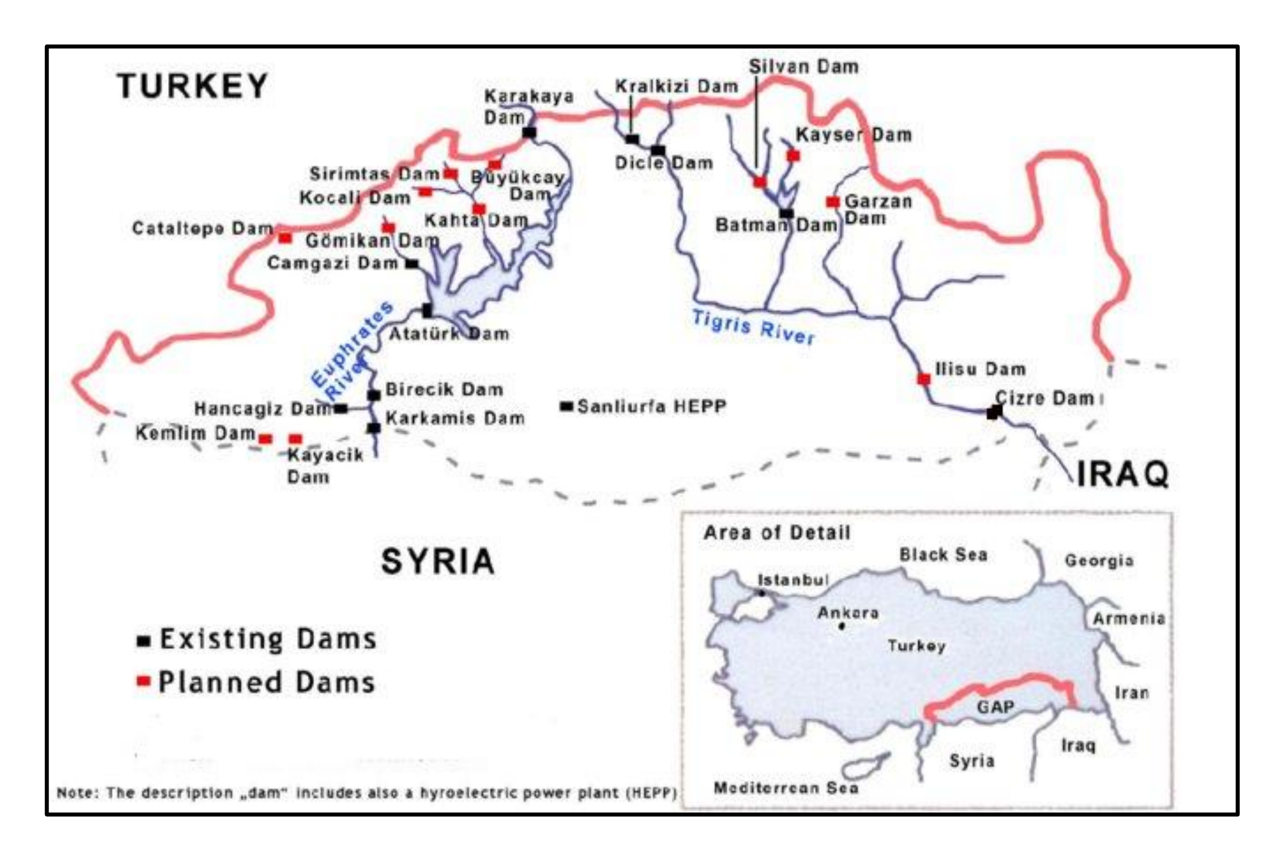
مما تقدم فأن درجة الأمان المتوفرة في أي سد تعتمد بصورة مباشرة على اعتماد المعايير الزلزالية الصحيحة في اختيار التعجيل التصميمي للهزة الأرضية الذي يتوقع ان تؤثر على السد. وفي المناطق ذات الحركة الزلزالية النشطة يتطلب إعادة النظر بهذه المعايير مرة كل خمسة سنوات على الأقل او عند وقوع هزة أرضية أعنف من كل ما سبق تسجيله في الماضي او ان تكون الهزة أقرب الى السد مما سبقها من هزات وذلك من اجل تحديث سجل الأمان الزلزالي للسد . يضاف الى ذلك فان على الجهة المالكة والمشغلة للسد اجراء مراقبة مستمرة لحالة السد بواسطة نصب محطة رصد زلزالي في الموقع على ان يكون لها طرفيات قياس مثبتة على جسم السد من اجل تسجيل قيم مركبات التعجيل الحقيقية في الموقع وربط ذلك مع اية اجهادات او تشوهات او ازاحات تطرأ على أجزاء السد المختلفة لأعطاء الضمانة بسلامته. ويمكن الاسترشاد بما ورد في المصدر [11] حول هذا الموضوع.

6. تأثيرات هزة تركيا- سوريا (6 شباط 2023) على السدود الكبيرة في المنطقة

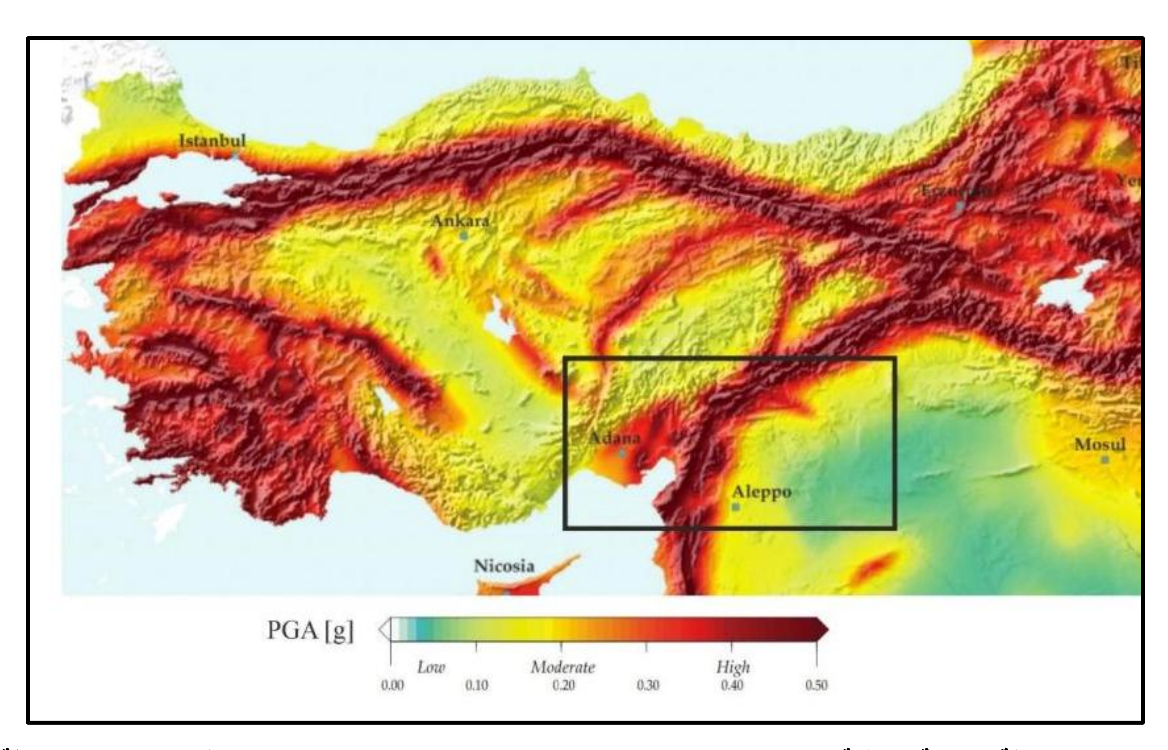
تشير الدراسات بأن تركيا تقع في أحد الأقاليم الزلزالية الاعنف نشاطا في العالم وقد عانت المنشأت وبعض السدود فيها اضرارا مختلفة. ومن الواضح أن اضرار الهزة الأخيرة لم تقتصر على البشر والمباني في كل من تركيا وسوريا بل هي بالتأكيد قد امتدت الى عدد كبير جدا من البنى التحتية التي لم يتضح مداها ولم يجري حصرها لحد الان بسبب انشغال السلطات بعمليات الإنقاذ وإزالة الأنقاض. ومن البنى التحتية التي لا شك قد طالتها الهزة هذه العديد من الطرق والجسور ومشاريع المياه وخطوط السكك و الطاقة والاتصالات وكذلك ألسدود. ومن المعلوم فأن المنطقة المنكوبة تقع ضمن مشروع

(الگاب) الاروائي الواقع في جنوب شرق الاناضول (الشكل 5) حيث عملت السلطات التركية على تشييد (22) سدا للسيطرة على مياه نهري دجلة والفرات وروافدهما لري مساحة (1.8) مليون هكتار من الأراضي الزراعية وتوليد (27) مليار كيلو واط . ساعة سنويا من الكهرباء [12][13]. ويلاحظ من (الشكل 6) ان المشروع المذكور يقع بأجمعه في منطقة زلزالية نشطة جدا تنحصر بين فالق الاناضول الشرقي وفالق الاناضول الشمالي الموضحين في (الشكل 4) . ونذّكرفي هذا الخصوص وقوع اضرار في بعض السدود في هذه المنطقة نتيجة للهزات الأرضية السابقة كان من أبرزها سد دوغانشهر (Doğanşehir) في مقاطعة مالتايا واحداثياته الجغرافية هي (38° 5′ 45″ N, 37° 52′ 45″ E) نتيجة للهزة الأرضية سنة 1986 التي لم تتجاوز قوتها حينذاك (5.8) درجات على مقياس ريختر، وكان موقع السد قريبا جدا من فالق نشط حصلت فيه الهزة المذكورة. ويُذكر بأن العديد من السدود تم أنشاؤها ضمن الحزام الزلزالي الفعال المشار اليه في اعمال تنفيذ مشروع (الگاب) ومنها سد اتاتورك وسد بيرة جك وسد قره قايا وسد كركميش وسد كيبان على نهر الفرات وسد إيلي صو على نهر دجلة إضافة الى عدد كبير من السدود المتوسطة والصغيرة الأخرى. وهناك أيضا العديد من السدود الكبيرة في سوريا والعراق ليست بعيدة عن تأثيرات هذا الحزام الزلزالي مثل سد الطبقة وسد حديثة وسد الموصل في كل من سوريا والعراق .

ولأعطاء فكرة عامة عن مدى تأثير هزة (6 شباط) في السدود التي تم ذكرها فقد عملنا على جمع المعلومات الفنية الخاصة بها من حيث ارتفاعاتها والاهداف التي أنشئت من أجلها بالإضافة الى سعات الخزن فيها وذلك لبيان أهميتها كما عملنا أيضا على إيجاد الاحداثيات الجغرافية لمواقعها ولخصنا هذه المعلومات في الجدول (4) تمهيدا لحساب المسافات الفاصلة بين هذه السدود وبؤرة الهزة موضوع البحث التي احداثياتها الجغرافيه هي (37° 9′ 57.6″ N, 37° 1′ 55.2″ E). بعد ذلك قمنا بحساب المسافات الفاصلة بين بؤرة الهزة ومواقع السدود أعلاه من التطبيق في المصدر[15] وادرجناها في الجدول (5)، كما ادرجنا في نفس الجدول قيم التعجيل الأرضي ألتصميمي الاقصى (Maximum Ground PGA-Acceleration) الناجم عن الهزة التشغيلية الأساسية (OBE) التي من الممكن أن تحصل خلال العمر التشغيلي للسد ولا تلحق به اية اضرار وكذلك التعجيل الأرضي للهزة الأرضية التصميمية القصوى الممكنة (MDE) التي قد تحدث اضرار في السد دون ان تتسبب بأنهياره، مع ملاحظة ان احتساب قيم التعجيل هذه للسدود التركية قد اعتمد على نتائج تحليل هزات أرضية تراوحت قوتها بين (5.7) و (7.4) درجات على مقياس ريختر واقل المسافات عن أي فالق كان تتراوح بين (1.3) الى (44.0) كيلوميتر [16][17]. أما قيم التعجيل لسدي حديثة والموصل فقد أخذت من التقاريرالتصميمية للسدين ألمذكورين مع اخذ بنظر الاعتبار كافة الهزات التي وقعت فعلا ضمن دائرة بنصف (250) كيلوميترحول السد، ولم يتسنى لنا الحصول على معلومات التعجيل لسد الطبقة مما دعانا الى افتراضها.



الشكل 5: مشروع (الگاب) في جنوب شرق الاناضول ومواقع السدود الرئيسية فيه



الشكل 6: خارطة زلزالية لمنطقة جنوب غرب الاناضول (المربع يشمل امتداد صدع هزة 6 شباط) . وتوضح الخارطة التعجيل الأرضي الأقصى (PGA) المحسوب باحتمال تجاوز (10%) كل 50 سنة أي بمعدل تكرار مرة كل 475 سنة [14].

جدول 4: السدود الكبيرة المشيدة على نهري دجلة والفرات في كل من تركيا وسوريا والعراق مع احداثيات مواقعها

النهر	الدولة	السد	الاهداف	ارتفاع السد متر	سعة الخزان مليار م^3	الاحداثيات	
						E	N
الفرات	تركيا	اتاتورك	ري + طاقة	169	48.7	38°19′03″	37°28′54″
		بيرة جك	ري + طاقة	62.5	1.22	37°53′24″	37°03′12″
		قره قايا	طاقة	173.0	9.50	39° 8′ 20″	38° 13′ 40″
		كركميش	طاقة	40.0	1.54	38° 1′ 48″	36° 52′ 13″
		كيبان	طاقة	207	15.58	38° 45′ 25″	38° 48′ 25″
	سوريا	الطبقة	ري + طاقة	60	11.70	38°34′00″	35°52′20″
	العراق	حديثة	ري + طاقة	57	8.3	42°22′41″	34°08′23″
دجلة	تركيا	ايلي صو	ري + طاقة	135	10.41	41°51′00″	37°31′48″
	العراق	الموصل	ري + طاقة	113	11.05	42°49′23″	36°37′49″

جدول 5: المسافات الفاصلة بين مواقع السدود وبؤرة الهزة

السد	المسافة بين السد وبؤرة الهزة (كيلوميتر)	التعجيل الأقصى التشغيلي (OBE) بدلالة (g)	ألتعجيل الاقصى الممكن (MCE) بدلالة (g)
اتاتورك	119	0.194	0.460
بيرة جيك	77	0.089	0.149
قره بابا	220	0.270	0.393
كركميش	95	0.076	0.126
كيبان	237	0.099	0.170
الطبقة	199	0.150	0.250
حديثة	588	*0.150	*0.250
ايلي صو	428	0.349	0.268
الموصل	518	0.150	0.250

- (OBE) التعجيل الموقعي ألاقصى مقاسا بدلالة التعجيل الأرضي (g) الذي يمكن ان ينتج عن حركة أرضية ناجمة عن هزة قد تحصل خلال العمر التشغيلي للسد أي (Operation Basis-Earthquake) .

- (MCE) التعجيل الموقعي الأقصى مقاسا بدلالة التعجيل الأرضي (g) الذي يمكن ان ينتج عن حركة أرضية ناجمة عن اقصى ما يمكن ان يحدث من هزات أرضية مؤثرة على السد (Maximum Creible Earthquake).

*القيم افتراضية ولكنها مقاربة للواقع حيث لم يتسنى لنا الحصول على الأرقام الدقيقة.

6. الاستنتاجات والتوصيات

من دراسة المعلومات أعلاه ومن المعطيات الموقعية لهزة 6 شباط يمكن ان نستنتج مايلي:

أولا: لم يبّلغ لحد الان عن انهيار أي من السدود في تركيا او سوريا نتيجة لحدوث هذه الهزة في المجال القريب او البعيد من الهزة مما يعني بأن التعجيل الأرضي الفعلي الناجم عن الهزة في مواقع تلك السدود لم يتجاوز الهزة الأرضية القصوى (MCE) الممكنة في مواقع تلك السدود بسبب المسافة بين السد و مركز الهزة وتخميد طاقتها بسبب جيولوجية المنطقة الفاصلة الى الحد الذي أصبحت فيه غير مؤثرة على سلامتها حتى في حالة الاحساس بالارتجاج فيها . وهذا لا يعني عدم حصول اضرار في أي من تلك السدود اذا ما تجاوز التعجيل الفعلي في الموقع تعجيل الهزة التشغيلية (OBE) المخمن . لذا فسوف نكون بأنتظار ما سوف تبلغ عنه السلطات التركية من اضرار ربما اصابت تلك السدود بعد قيامها بأجراء فحص السلامة الموقعي كما هو منتظر منها على امل ان تتعاطى تلك السلطات بشفافية لأبلاغ العراق وسوريا بمثل هكذا حالات، وفي نفس الوقت اتخاذ الإجراءات الانشائية لترصين سلامة كافة هذه السدود مع إعادة النظر باقيام التعجيل التشغيلي الأقصى والتعجيل الأقصى الممكن في ضوء الهزة المشار اليها وارتداداتها والاستفادة من اية سيزموغرات للمتغيرات الزلزاليه وهي تغيرات التعجيل والسرعة مع الزمن إضافة الى الذبذبة المسجلة للهزة (frequency) في حالة وجود أجهزة استشعار زلزالي في مواقع تلك السدود.
وفي ذات الوقت نتوخى من السلطة المسيطرة على مواقع السدود في شمال وشمال غرب سوريا اتخاذ نفس الإجراءات وبمساعدة اممية ان تطلب الامر.

ثأنيا: لقد تم الإحساس بالهزة وارتداداتها في المناطق المحيطة بسد حديثة وسد الموصل على الرغم من بعد المسافة الفاصلة بين مركزالهزة وكل من موقعي هذين السدين والتي ذكرناها في ألجدول (5)، ولا يوجد هناك أجهزة استشعار زلزالي منصوبة في موقعي السدين للاسترشاد بالسيزموغرافات التي تسجلها و دراستها والمقارنة مع تجاوب السدين مع هذه الهزات من ازاحات وتشوهات. وفي كل الأحوال يتطلب القيام بالفحص البصري لكافة أجزاء هذين السدين ومعرفة فيما اذا حصلت فيه بعض التشققات او الازاحات في المنشأت الترابية والخرسانية أو فيما أذا ازدادت كميات الرشح التي يجري رصدها بأستمرار. كما ان احد الأمور الأكثر أهمية والحاحا هو اجراء دراسات جديدة لأشتقاق علاقات تخميد

(Attenuation Relations) لمساحة واسعة حول كل من السدود لتضم فيها اكبر عدد من الهزات السابقة والهزة الأخيرة وارتداداتها ، خاصة وأن علاقات التخميد التي سبق أستعمالها في التصاميم وكذلك تلك المشتقة من قبل مهندس الزلازل الصربي (Tosić) لشمال العراق عامة ولسدود حمرين والموصل وبخمة وحديثة على وجه التحديد لم تعد تفي بالغرض المطلوب نظرا لبعد الهزة المعنية عن مواقع هذه السدود ولكثرة عدد الهزات المستجدة بعد عام 1973منذ اعداد دراسة الزلزالية لسد حمرين وما تبعها من دراسات في الأعوام اللاحقة لبقية السدود[18].

ثالثا: نرى ضرورة القيام باعداد دراسات جديدة لمراجعة تصاميم السدود العراقية الكبيرة كافة تستند على ما استجد من معطيات منذ انجاز تلك السدود من اجل الوصول الى اقيام جديدة لتعجيل الهزة التشغيلية (OBE) المخمنة والهزة الأرضية القصوى (MCE) الممكنة من اجل اجراء تقييم جديد وموضوعي لسلامة هذه السدود. ونرى بأن هزة 6 شباط لن تكون الهزة الأخيرة من هذا الحجم حيث ان ما فعلته هذه الهزة بالذات هوتنشيط الفعالية الزلزالية في عموم الإقليم بصورة كبيرة وبالتالي ايقاظ بؤر جديدة للزلازل على الفوالق الحالية او المتكونة حديثا بدأت بتخزين الطاقة فيها نتيجة للحركة المستجدة في هذه الفوالق وسوف ينعكس ذلك في حدوث زلازل جديدة متفاوته بالعنف وربما تفوق بقوتها الهزة موضوع بحثنا.

رابعا. سبق لكاتب هذا المقال ان بذل جهودا حثيثة من خلال الهيئة العامة للسدود ولغاية عام 2006 بالتواصل مع الهيأة العامة للانواء الجوية والرصد الزلزالي من اجل نصب مستشعرات زلزالية في مواقع كافة السدود العراقية من اجل رصد ردود أفعال تلك السدود تجاه الهزات الأرضية التي تحصل في المناطق المحيطة بهذه السدود من اجل تقييم سلامتها والتأكد منها، إلا ان الملاحظ بأن الجهود التي بذلت في ذلك الحين لم تثمر لحدالان شيئا مما يتطلب التأكيد على وزارة الموارد المائية العراقية على أهمية هذا الامر بالنسبة لسلامة السدود وللسير به ا بأسرع وقت والاستفادة مما ورد في البحث المنشور للكاتب عام 2020 ألموسوم "Dam Safety:Use of Seismic Monitoring instruments in Dams" حول ذلك [19].

ألمصادر

[1] California Earthquake Authority. "Understanding Plate Tectonic Theory". August 31, 2020. Accessed February 14, 2023. https://www.earthquakeauthority.com/Blog/2020/Understanding-Plate-Tectonic-Theory#:~:text=Tectonic%20plates%2C%20large%20slabs%20of,the%20soft%20core%20(mantle).

[2] Adamo N, al- Ansari N, Sissakian V, Laue J. Dam Safety and Earthquakes”. J Earth Sciences and Geotechnical Engineering. Vo. 10, No 6. PP 78-132. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1444080/FULLTEXT01.pdf

[3] Foulger G R, Wilson M P, Gluyas J G, Julian B, Davis R J. “Global review of human-induced earthquakes". Earth Science Reviews. Volume 178, March 2018, PP. 438- 514. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001282521730003X

[4] Atomic Archives. “The Atomic Bombings of Hiroshima and Nagasaki". Accessed January 14 , 2023. https://www.atomicarchive.com/resources/documents/med/med_chp11.html

[5] Atmosp. Physics. ca. “Estimate of the energy released in the first Atomic Bomb explosion”. Sept. 10, 2004). Accessed January 14, 2023. https://www.atmosp.physics.utoronto.ca/people/codoban/PHY138/Mechanics/dimensional.pdf

[6] Earth Observatory of Singapore. “ What are the biggest historical earthquakes?”. Accessed January 14, 2023. https://earthobservatory.sg/earth-science-education/earth-science-faqs/geology-and-tectonics/what-are-the-biggest-historical-earthquakes#:~:text=The%20biggest%20earthquake%20ever%20recorded,under%20the%20South%20American%20plate.

[7] آدمو: نصرت نجيب " الزلازل وتأثيرها في السدود الركامية". ألمجلة العلمية للموارد المائية وزارة : الري العراقية. 1985.https://archive.org/details/1985-1_202302 0r : https://ia904704.us.archive.org/10/items/1985-1_202302/%D8%A7%D9%84%D8%B2%D9%84%D8%A7%D8%B2%D9%84%20%D9%88%D8%AA%D8%A3%D8%AB%D9%8A%D8%B1%D9%87%D8%A7%20%D9%81%D9%8A%20%D8%A7%D9%84%D8%B3%D8%AF%D9%88%D8%AF%20%D8%A7%D9%84%D8%B1%D9%83%D8%A7%D9%85%D9%8A%D8%A9%D8%8C%20%D9%86%D8%B5%D8%B1%D8%AA%20%D8%A3%D8%AF%D9%85%D9%88%D8%8C%201985%20%281%29.pdf

[8] Naddaf M. “Turkey–Syria earthquake: what scientists know”. Nature. Update 09 February 2023. https://www.nature.com/articles/d41586-023-00364-y

[9] Adamo N , Al-Ansari N, Sissakian V, Laue J, Knutsson S. “Dam Safety and Earthquakes”. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol. 10, No. 6, 2020, 79-132. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1444080/FULLTEXT01.pdf

[10] Adamo N, Al Ansari N, Sissakian V, Knutsson S, Laue J. “Mosul Dam Full Story”. PP 21-25. First Edition 1918. https://drive.google.com/file/d/12gyqup3jw6aL3bQLHe7Xw5GjziBhfAQH/view

[11] Adamo N , Al-Ansari N, Sissakian V, Laue J, Knutsson S. “Dam Safety: Use of Seismic Monitoring Instrumentation in Dams”. Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2020, 203-247. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1471297/FULLTEXT01.pdf

[12] Bilgen, A. (2018) Turkey's South-eastern Anatolia Project (GAP): A Quantitative Review of the Literature. British Journal of Middle Eastern Studies , 47, 652-671.

https://doi.org/10.1080/13530194.2018.1549978

[13] Bilgen, A. (2020) Politics of Turkey's Ongoing Hydroelectric Projects. Journal of Middle Eastern Studies , 47, 652-671.

https://doi.org/10.1080/13530194.2018.1549978

[14] Giardini, D., Danciu, L., Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu Tümsa, M. B., Akkar, S., Gülen, L., & Zare, M. (2018). Seismic hazard map of the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *16*(8), 3567–3570 https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-018-0347-3

[15] TM. Movable Type Script. "calculate distance, bearing and more between Latitude/ Longitude points". Accessed January 16, 2023. https://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html

[16] Tosun H. "Experience on Earthquake Safety of Large Embankment Dams Constructed in Turkey". Proceedings of the 6th International Conference on Civil Engineering and Transportation Engineering . Paper No. 137. May 17-19.2021

https://www.researchgate.net/publication/351760649_Experience_on_Earthquake_Safety_of_Large_Embankment_Dams_Constructed_in_Turkey

[17] Tosun H. "Total Risk and Seismic Stability of Existing Large CERFD's in Turkey". Proceedings of the 6th International Conference on Civil Engineering and Transportation Engineering . Paper No. 138. May 17-19.2021

https://www.researchgate.net/publication/351759756_Total_Risk_and_Seismic_Stability_of_Existing_Large_CFRD's_in_Turkey

[18] Tosic M B. "Seismic risk studies for large dam projects in Northern Iraq". Dams and earthquake.1981

https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/dae.01237.0005

[19] Adamo N , Al-Ansari N, Sissakian V, Laue J, Knutsson S. "Dam Safety: Use of Seismic Monitoring Instrumentation in Dams". Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2020, 203-247. http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1471297/FULLTEXT01.pdf